

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3530729 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:  
**H01 L 41/08**

②1 Aktenzeichen: P 35 30 729.3  
②2 Anmeldetag: 28. 8. 85  
④3 Offenlegungstag: 13. 3. 86

Behördeneigentum

DE 3530729 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
30.08.84 JP P59-181517

⑦1 Anmelder:  
Tokyo Juki Industrial Co., Ltd., Chofu, Tokio/Tokyo,  
JP

⑦4 Vertreter:  
Flügel, O., Dipl.-Ing.; Säger, M., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anw., 8000 München

⑦2 Erfinder:  
Shibuya, Tsuyoshi, Chofu, Tokio/Tokyo, JP

⑤4 **Piezoelektrisches Betätigungsglied**

Die Erfindung betrifft ein piezoelektrisches Betätigungs-  
glied, bei welchem die durch den piezoelektrischen Effekt  
bewirkte Verschiebung durch ein Hebelverbindingssystem  
mechanisch verstärkt wird, durch dessen mehrstufige Aus-  
bildung die Verstärkung der Verschiebung den jeweiligen  
Anforderungen angepaßt werden kann.

DE 3530729 A1

Dipl.-Ing. Otto Flügel, Dipl.-Ing. Manfred Säger, Patentanwälte, Cosimastr. 81, D-8 München 81

TOKYO JUKI INDUSTRIAL CO., LTD.  
2-1, Kokuryo-cho 8-chome, Chofu-shi  
Tokyo 182, J a p a n

12.826 sä/wa

---

## PIEZOELEKTRISCHES BETÄTIGUNGSGLIED

---

### P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Piezoelektrisches Betätigungsglied, g e k e n n z e i c h n e t d u r c h ein piezoelektrisches Element (6), dessen eines Ende an einem Rahmenkörper (5) befestigt ist, und an dessen anderem Ende ein in Reihe angeordneter mechanischer Verstärker (7) mit einem von diesem abführenden Arm (8) angeordnet ist, wobei der mechanische Verstärker (7) einen Hebelbereich (7a,7b) und einen Stützbereich (9a,9b) aufweist, und wobei die Verstärkungskraft durch das Verhältnis der ab dem Stützbereich (9a,9b) gemessenen Länge des Hebelbereichs (7a,7b) bestimmt wird.

2. Betätigungsglied nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß ein Plattenpaar (10), das die Stützwelle (9) haltend zwischen sich aufnimmt, an beiden Enden des Rahmens (5) befestigt ist, daß der Schaftbereich (9a) und der Stützbereich (9b) der Stützwelle (9) exzentrisch angeordnet sind, derart, daß die Stützwelle (9) eine exzentrische Drehung ausführt, und daß zwischen der Außenfläche des Stützbereichs (9b) der Welle (9) und der Seitenfläche der Platte des mechanischen Verstärkers (7), die als Lager dient, ein leichter Kontakt vorhanden ist.

- 2 -

3. Betätigungsglied nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß an der ebenen Fläche des mechanischen Verstärkers (7) elastische Anlenk-elemente (15) vorgesehen sind, an welchen der Hebel (7a,7b) drehbar gelagert ist.

4. Betätigungsglied nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Rahmen (5) und der mechanische Verstärker (7) in Reihe zu einer Einheit verbunden sind.

5. Betätigungsglied nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das piezoelektrische Element (6) und der mit dem Ende des piezoelektrischen Elements verbundene mechanische Verstärker (7) auf einem flach bzw. eben ausgebildeten Oberflächenbereich des Rahmens (5) angeordnet sind.

Dipl.-Ing. Otto Flügel, Dipl.-Ing. Manfred Säger, Patentanwälte, Cosimastr. 81, D-8 München 81

- 3 -

Für die vorliegende Anmeldung wird die Priorität der japanischen Patentanmeldung 59-181517 vom 30.08.1984 in Anspruch genommen.

----

Die Erfindung betrifft eine Energieumwandlungsvorrichtung, bei welcher die Transversalwirkung eines piezoelektrischen Elements genutzt wird. Insbesondere jedoch betrifft die Erfindung ein Betätigungsglied, das durch ein elektrisches Signal gesteuert wird, welches elektrische Energie in eine lineare Hin- und Herbewegung umsetzt.

Schrittmotoren, Solenoide und Elektromagnete sind als Betätigungsglieder des allgemeinen Typs bekannt. Alle diese Betätigungsglieder zeigen aber aufgrund ihrer elektrischen Induktivität ein verzögertes Ansprechverhalten. Ein Schrittmotor zum Beispiel kann aufgrund seiner Trägheit nicht exakt an einer vorgegebenen Stelle anhalten und ist deshalb kompliziert zu steuern. Bei einem Elektromagnet oder Solenoid ist der Energieverbrauch wegen des niedrigeren Wirkungsgrades der Energieumsetzung relativ hoch. Es besteht daher Überhitzungsgefahr, die die Lebensdauer verkürzt. Um dem vorzubeugen, müßten solche Betätigungsglieder über eine umfangreichere, schwerere Konstruktion verfügen. Bei Druckern zum Beispiel wird durch die Erregung eines Elektromagnets bewirkt, daß Typen über Farbband und Papier gegen eine Schreibwalze geschlagen werden, wodurch der Druck erfolgt. Nach Abschalten des Magnets erfolgt die Rückführung der Typen in die Ausgangslage durch Federwirkung. Bei solchen Druckern erfordern der Anschlag und die Rückführung der Typen in einer kreisbogenförmigen Linie eine kraftvolle Bewegung, wodurch

- 4 -

die Druckgeschwindigkeit eingeschränkt wird. Die Geräuschbelastung durch den metallenen Klang beim Anschlag der Typen ist relativ stark und muß durch entsprechende Dämpfungseinrichtungen beseitigt werden, was bedeutet, daß zusätzliche Bauteile erforderlich sind, durch welche solche Konstruktionen relativ umfangreich werden.

Damit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Betätigungsglied zur Verfügung zu stellen, das sich durch leichtes Gewicht, Geräuscharmheit, eine geringe Anzahl von Bauteilen und eine stabile Konstruktion auszeichnet, und das die physikalische Verschiebung, Bewegung bzw. den Versatz eines piezoelektrischen Elements bzw. daran mechanisch verstärkt.

Diese Aufgabe wird bei einem Gegenstand nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 erfindungsgemäß durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen im Zusammenhang mit den Zeichnungen.

Es zeigt:

Figur 1 eine erläuternde Darstellung eines lamellierten bzw. geschichteten piezoelektrischen Elements;

Figur 2A eine Vorderansicht eines erfindungsgemäßen Betätigungsglied in bevorzugter Ausführungsform;

- Figur 2B eine Seitenansicht des Betätigungsglieds gemäß Figur 2A;
- Figur 3 eine perspektivische Darstellung eines mechanischen Verstärkers in Anwendung auf das Betätigungsglied nach Figur 2A;
- Figur 4 eine Vorder- und Seitenansicht einer Drehwelle in Anwendung auf das Betätigungsglied nach der ersten bevorzugten Ausführungsform gemäß Figur 2A;
- Figur 5 eine Schnittansicht zur Darstellung der relativen Lage der Drehwelle, einer Befestigungsplatte für die Drehwelle und des mechanischen Verstärkers bei dem Betätigungsglied nach der ersten bevorzugten Ausführungsform;
- Figur 6A einer Vorderansicht einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 6B eine Seitenansicht der Ausführungsform gemäß Figur 6A;
- Figur 7A eine Vorderansicht einer dritten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 7B eine Seitenansicht der Ausführungsform gemäß Figur 7A;
- Figur 8 eine Vorderansicht eines mechanischen Verstärkers in Anwendung auf die dritte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung;

Figur 9 eine Vorderansicht eines Distanzhalters in Anwendung auf die dritte bevorzugte Ausführungsform der Erfindung;

Figur 10 eine perspektivische Darstellung des erfindungsgemäßen Betätigungsglieds nach der dritten bevorzugten Ausführungsform.

Figur 1 zeigt eine innere Elektrode 1, eine äußere Elektrode 2, einen Isolator 3 und ein piezoelektrisches Element 4. Da die Verschiebung pro Einzelelement so gering ist, sind die Elemente übereinandergeschichtet, um die Verschiebung insgesamt zu vergrößern. Die Spannung wird an die äußere Elektrode 2 angelegt, derart, daß eine Verschiebung (Ausdehnung) des freien Endes der transversalen Seite erfolgt. Der Aufbau eines geschichteten piezoelektrischen Elements ist hinreichend bekannt und bedarf keiner weiterführenden Erläuterung.

In den Figuren 2A und 2B bezeichnet Bezugsziffer 5 einen plattenförmigen Rahmen, der aus einer hochwertigen Leichtmetall-Legierung, beispielsweise einer Aluminiumlegierung, hergestellt ist und eine Öffnung dergestalt aufweist, daß der Rahmen eine annähernde U-Form erhält. An der Unterseite des Rahmens bzw. der Rahmenplatte 5 ist ein piezoelektrisches Element 6 angeordnet und mit seiner Unterseite an der Innenfläche der U-förmigen Rahmenplatte 5 befestigt, und zwar mit Hilfe von Klebstoff wie zum Beispiel ARALDITE (Handelsbezeichnung). Bezugsziffer 7 bezeichnet einen mechanischen Verstärker, dessen Einzelheiten in Figur 3 dargestellt sind.

- 7 -

Der mechanische Verstärker 7 ist aus Federstahl (mit einer Dicke von 0,8~1,0 mm) hergestellt und annähernd Z-förmig ausgebildet. Er besteht aus einem ersten Hebelabschnitt 7a und einem zweiten Hebelabschnitt 7b, wobei das untere Ende 7c des Verstärkers 7 mit Hilfe von Klebstoff der Marke ARALDITE an dem anderen Ende des piezoelektrischen Elements 6 befestigt ist. An der Oberseite des mechanischen Verstärkers 7 ist ein Verschiebungs-Übertragungsarm 8 befestigt, der aus einer Hartmetall-Legierung hergestellt und reibungsbeständig ist. Bezugsziffer 9 bezeichnet eine Stütz- bzw. Lagerwelle, deren insgesamt zwei zwischen zwei Befestigungsplatten 10 festgespannt sind und den Raum belegen, der zwischen dem ersten Hebelabschnitt 7a und dem zweiten Hebelabschnitt 7b des mechanischen Verstärkers 7 vorhanden ist. Das Plattenpaar 10 ist mit Schrauben 11 an dem oberen Endabschnitt der U-förmigen Rahmenplatte 5 befestigt (Figur 2).

Wie Figur 4 zeigt, besteht die Stütz- bzw. Lagerwelle 9 aus einem Schaftbereich 9a und einem Stütz- bzw. Lagerbereich 9b, wobei der Bereich 9a in dem Bereich 9b exzentrisch angeordnet ist. Beide Wellenbereiche 9a und 9b sind aus einer hochfesten Aluminiumlegierung hergestellt und als eine Einheit ausgebildet. Der Schaftbereich 9a weist eine Schlitzöffnung auf.

Figur 5 zeigt in geschnittener Darstellung die relative Lage des ersten und zweiten Hebelabschnitts 7a und 7b des mechanischen Verstärkers 7, der Stützwelle 9 und des Plattenpaares 10 für die Festlegung der Welle 9. Zwischen der eben ausgebildeten Oberfläche 7a' des ersten Hebelabschnitts 7a und der Umfangsfläche des Stütz- bzw. Lagerbereichs 9b der Stützwelle 9 ist



ist eine leichte Berührung vorhanden (Figur 3). Diese Anordnung bzw. Lage wird durch Drehen des Schlitzes in dem Schaftbereich 9a der Welle 9 in die anhand des Pfeils in Figur 5 dargestellte Richtung eingestellt, und nach Sicherung der eingestellten Stützlage wird der Wellenbereich 9a mit Hilfe von Klebstoff (zum Beispiel der Marke ARALDITE) festgelegt. Damit ist der Stütz- bzw. Lagerpunkt für den ersten Hebelabschnitt 7a hergestellt. Der gleiche Vorgang wird für den zweiten Hebelabschnitt 7b wiederholt.

Die Funktionsweise des wie oben beschrieben ausgebildeten Betätigungsgliedes wird nachfolgend erläutert.

Wenn an das piezoelektrische Element 6 eine Spannung angelegt wird, wirkt die erzeugte Kraft aufgrund der Befestigung des Elements 6 an der Bodenseite der U-förmigen Rahmenplatte 5 in der anhand des Pfeils in Figur 2A gezeigten Richtung und übt eine Schubwirkung auf das untere Ende 7c des mechanischen Verstärkers 7 aus. Wenn in diesem Falle das Volumen des piezoelektrischen Elements 6 gleich  $2 \times 10 \times 20 \text{ mm}^3$  beträgt, so beträgt die Verschiebung gleich  $10 \text{ } \mu\text{m}$  ( $\mu = 10^{-6}$ ). Diese Verschiebung wird auf den mechanischen Verstärker 7 übertragen, wird dort verstärkt und bewirkt eine Verschiebung des Übertragungsarms 8 in der dargestellten Pfeilrichtung. Der mechanische Verstärker 7 verstärkt die Verschiebung um eine Hebellänge, die ab der Stützwelle 9 gemessen wird. Die Verschiebung durch den ersten Hebelabschnitt 7a beträgt  $10 \text{ } \mu\text{m} \times b/a$ , die Verschiebung durch den zweiten Hebelabschnitt 7b  $10 \text{ } \mu\text{m} \times b/a \times d/c$ , so daß also die gesamte Verschiebung durch den mechanischen Verstärker 7 gleich  $10 \text{ } \mu\text{m} \times b/a \times d/c$  entspricht. Bei  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $b$

Verschiebung durch den mechanischen Verstärker 7 gleich  $10 \mu\text{m} \times b/a \times d/c$  entspricht. Bei  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $b = 25 \text{ mm}$ ,  $c = 5 \text{ mm}$ ,  $d = 50 \text{ mm}$  entspricht die resultierende Vergrößerungskraft einem Wert von 50, und die resultierende Verschiebung beträgt  $500 \mu\text{m}$ .

Wie vorstehend bereits erwähnt, wird die Hebellänge ausgehend von der Stützwelle 9 gemessen. Durch den zweistufigen Hebel wird die Verschiebung in hohem Masse verstärkt. Wenn das piezoelektrische Element 6 in einem nächsten Schritt in den spannungslosen Zustand gebracht wird, wird die Verschiebung an dem mechanischen Verstärker 7 rasch kleiner, und der Verstärker kehrt schließlich in seine Ausgangslage zurück.

Bezugsziffer 12 in Figur 2 bezeichnet Öffnungen, die zur Befestigung des Betätigungsgliedes dienen.

Die Figuren 6A, 6B zeigen eine zweite bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes. Dabei tragen die einzelnen Elemente die gleichen Bezugsziffern wie die Elemente der in den Figuren 1 bis 5 beschriebenen ersten bevorzugten Ausführungsform. Die zweite bevorzugte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes darin, daß Rahmenplatte und mechanischer Verstärker einstückig ausgebildet und an dem mechanischen Verstärker mehrere elastische Gelenk- bzw. Anlenkpunkte ausgebildet sind, die zur drehenden Lagerung der Hebelabschnitte dienen.

Die Rahmenplatte 5 und der mechanische Verstärker 7 werden zum Beispiel aus Federstahl durch Preßformung einstückig hergestellt. An dem mechanischen Verstärker

sind ein erster Hebelabschnitt 13, ein zweiter Hebelabschnitt 14 und drei Anlenkelemente 15 in Form von elastischen, scharnierartigen Körpern vorgesehen. Das piezoelektrische Element 6 wird zwischen dem unteren Ende 16 des ersten Hebelabschnitts 13 des mechanischen Verstärkers 7 und der eben ausgebildeten Bodeninnenfläche der Rahmenplatte 5 eingesetzt und mit Hilfe eines Klebemittels (beispielsweise der Marke ARALDITE) festgelegt.

Die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes in dieser zweiten bevorzugten Ausführungsform ist identisch mit jener der ersten Ausführungsform.

Bei  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $b = 20 \text{ mm}$ ,  $c = 5 \text{ mm}$ ,  $d = 40 \text{ mm}$  beträgt die Verschiebung an dem mechanischen Verstärker 7 gleich  $10 \text{ } \mu\text{m} \times a/b \times d/c = 320 \text{ } \mu\text{m}$ , so daß also der Übertragungsarm 8 um  $320 \text{ } \mu\text{m}$  (Wert der Vergrößerungskraft = 32) in der in Figur 6A gezeigten Pfeilrichtung verschoben wird.

Die Bezugsziffern 17 in Figur 6A bezeichnen Montageöffnungen für die Befestigung des Betätigungsgliedes.

Figur 7 zeigt eine dritte bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes, bei welcher der mechanische Verstärker und das piezoelektrische Element auf einer Rahmenplatte angeordnet sind. Die Rahmenplatte 5 ist L-förmig ausgebildet. Der mechanische Verstärker 7 weist einen ersten Hebelabschnitt 18, einen zweiten Hebelabschnitt 19, einen dritten Hebelabschnitt 20 und einen vierten Hebelabschnitt 21 auf. Diese Hebelabschnitte sind in Reihe bzw. der Reihe nach angeordnet. Es sind sechs Lager- bzw. Dreh-

punkte in Form von elastischen, scharnierartigen Körpern 15 vorgesehen. Das piezoelektrische Element 6 ist zwischen dem unteren Ende 22 des ersten Hebelabschnitts 18 und der flach ausgebildeten Innenseite bzw. Innenfläche des Rahmens 5 angeordnet und mit Hilfe von Klebstoff (beispielsweise der Marke ARALDITE) befestigt. Der mechanische Verstärker 7 ist über einen Distanzhalter 23 auf der eben ausgebildeten Oberfläche der Rahmenplatte 5 mit Hilfe von vier Schrauben befestigt. Bezugsziffer 24 bezeichnet Montageöffnungen für die Befestigung des Betätigungsgliedes. Die in Figur 8 gezeigten Öffnungen 11' dienen zur Aufnahme der flachen Köpfe der Schrauben 11. Figur 9 zeigt den Distanzhalter 23, der plattenförmig derart ausgebildet ist, daß die Aktionsfreiheit des Hebels an dem mechanischen Verstärker 7 nicht gestört wird. Der Distanzhalter 23 weist ebenfalls Öffnungen 11' zur Aufnahme der flachen Köpfe der Schrauben 11 auf.

In Figur 10 ist eine dritte bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes dargestellt, dessen Funktionsweise identisch ist mit jener der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen.

Bei  $a = 5 \text{ mm}$ ,  $b = 10 \text{ mm}$ ,  $c = 4 \text{ mm}$ ,  $d = 15 \text{ mm}$ ,  $e = 5 \text{ mm}$  und bei einem Volumen des piezoelektrischen Elements von  $4 \times 16 \times 20 \text{ mm}^3$  beträgt die Verschiebung an dem mechanischen Verstärker 7 in dieser dritten Ausführungsform gleich  $20 \text{ } \mu\text{m} \times 10/5 \times 15/4 \times 10/5 \times 18/4 = 1.350 \text{ } \mu\text{m}$ , und die Vergrößerungskraft entspricht einem Wert von 67,5. Das heißt die Verschiebung an dem sich in Richtung des Pfeils in Figur 7A bewegendem Übertragungsarm 8 beträgt  $1.350 \text{ } \mu\text{m}$ .

Durch die erfindungsgemäße Kombination des piezoelektrischen Elements 6 mit dem mechanischen Verstärker 7 in der vorstehend beschriebenen Weise läßt sich die Verschiebung verstärken, so daß der zur Übertragung der Verstärkung dienende Arm 8 je nach der benötigten Leistungsfähigkeit als wirksames Betätigungsorgan für elektronische Instrumente verwendet werden kann. Da jedes Betätigungsglied sehr dünn und kompakt ausgebildet ist, können mehrere solcher Betätigungsglieder auf einer Basisplatte übereinandergeschichtet werden, wobei zwischen den einzelnen Betätigungsgliedern mit Hilfe von Schrauben, die in die Öffnungen 12, 17, 24 geschraubt werden, Distanzhalter angeordnet werden, damit die Verschiebung der einzelnen Betätigungsglieder nicht beeinträchtigt wird. Ein auf diese Weise kombiniertes Betätigungsglied kann als eine Einheit hergestellt und für vielfache Zwecke verwendet werden. Eine wirksame Anwendung des erfindungsgemäßen Betätigungsgliedes wäre zum Beispiel denkbar im Zusammenhang mit einem Druckkopf, der für den Anschlag einer bestimmten Anzahl von Zeichen in einer bestimmten Zeit ausgelegt ist, da sich die Druckgeschwindigkeit durch das erfindungsgemäße Betätigungsglied erheblich steigern läßt. Da das erfindungsgemäße Betätigungsglied darüber hinaus als eine Einheit ausgebildet ist, gestaltet sich auch die Auswechslung entsprechend einfach.

Wie bereits vorstehend beschrieben, wird bei vorliegender Erfindung als Antriebselement ein piezoelektrisches Element verwendet, und die Verschiebung wird an einem mechanischen Verstärker verstärkt und durch einen Übertragungsarm übertragen. Das konstruktive ein-

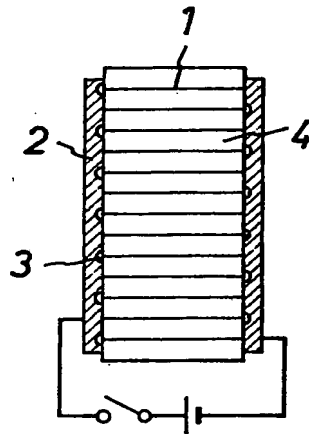
Dipl.-Ing. Otto Mägkl, Dipl.-Ing. Manfred Säger, Patentanwälte, Cosimastr. 81, D-8 München 81

- 13 -

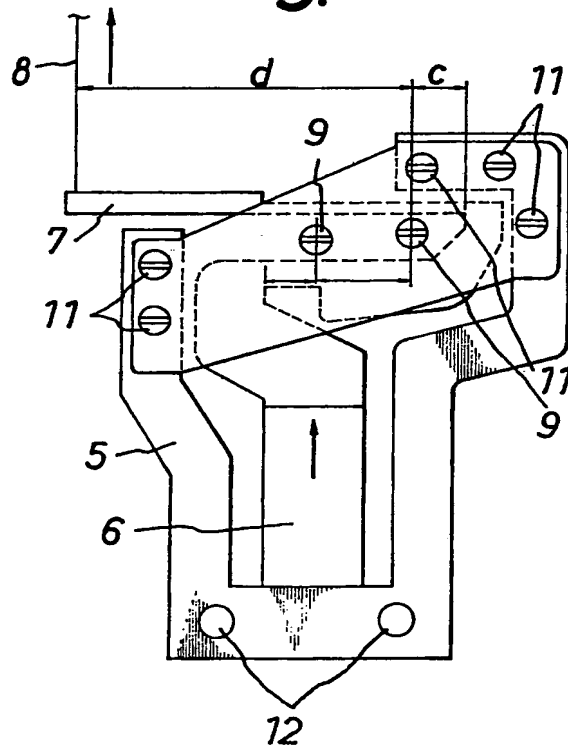
fach ausgebildete Betätigungsglied in Form einer aus mehreren Schichten gebildeten Einheit löst auf wirksame Weise Probleme wie ungenauen Stopp, instabilen Betrieb, geringe Leistung bei der Energieumwandlung, Überhitzung und umfangreiche, schwere Konstruktion bei Verwendung von Schrittmotoren, Elektromagneten oder Solenoiden.

Das erfindungsgemäße Betätigungsglied sorgt für eine exakte Verschiebung und zeichnet sich durch einen geräuscharmen Betrieb sowie durch problemlose Steuerbarkeit des Antriebselements aus. Das erfindungsgemäße Betätigungsglied ist besonders geeignet als elektronisches Betätigungsglied, wenn - wie bei dem Druckkopf eines Druckers, bei welchen Nadelhämmer über Farbband und Papier gegen die Schreibwalze geschlagen werden - hohe Betriebsgeschwindigkeit und Leichtbauweise gefordert sind. Durch die leichte und kompakte Bauweise mit nur wenigen Bauteilen erfüllt das erfindungsgemäße Betätigungsglied auch die Anforderungen an Produktivität und Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung.

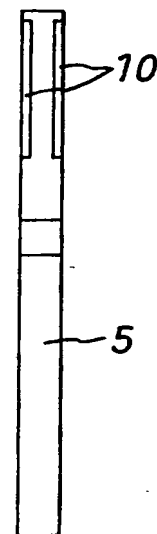
**Fig. 1**



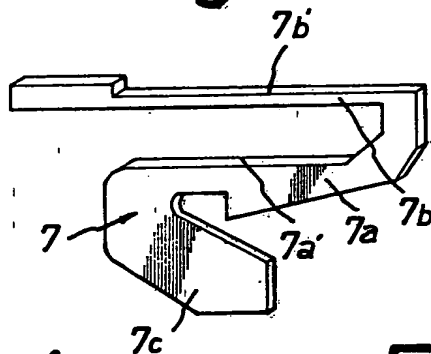
**Fig. 2A**



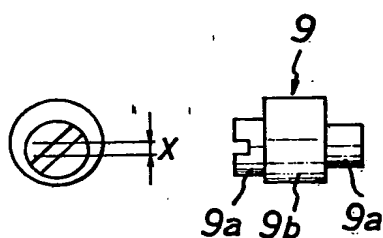
**Fig. 2B**



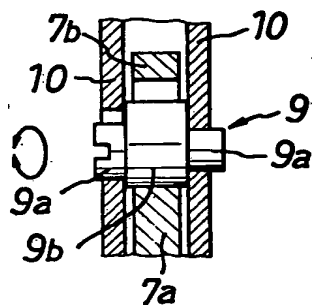
**Fig.3**



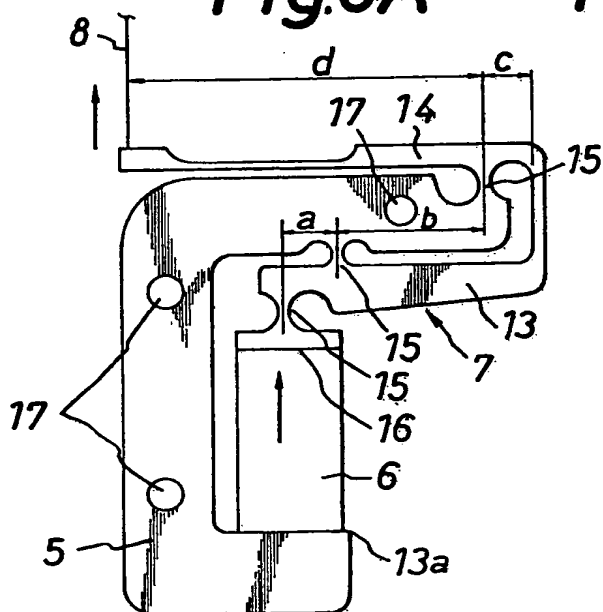
**Fig.4**



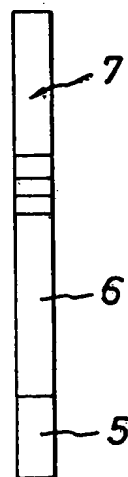
**Fig.5**



**Fig.6A**



**Fig.6B**





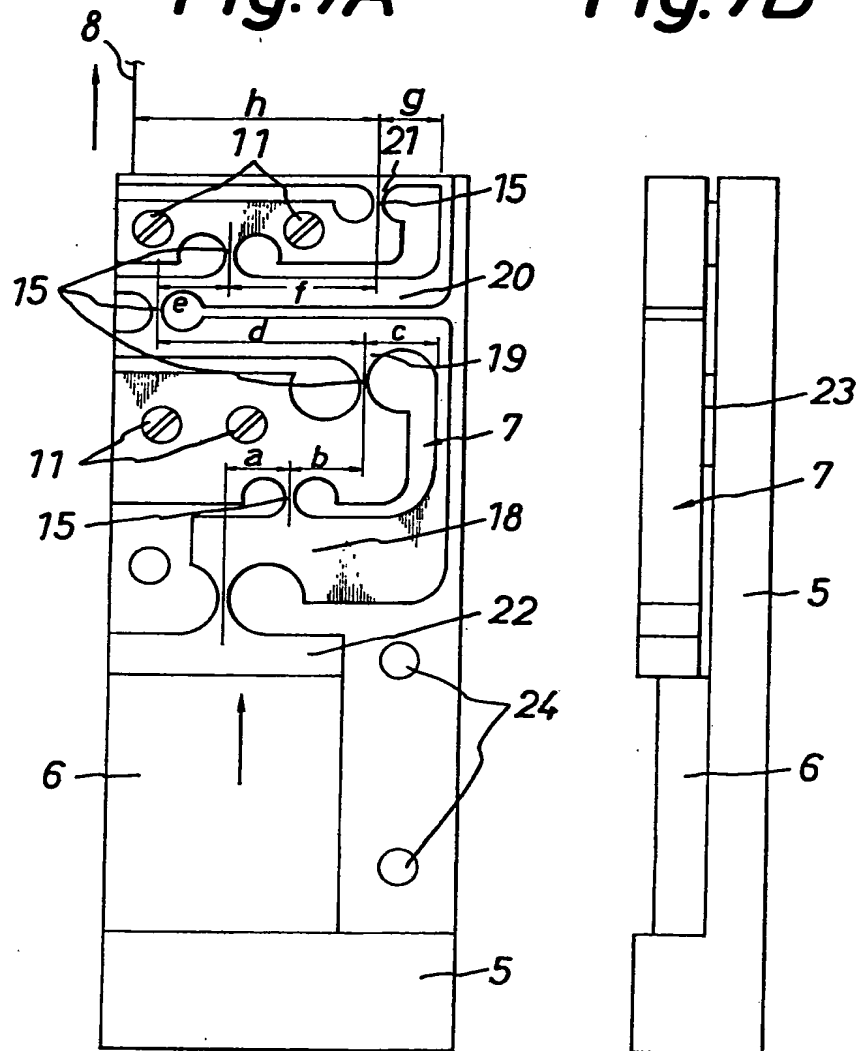
28-08-85

3530729

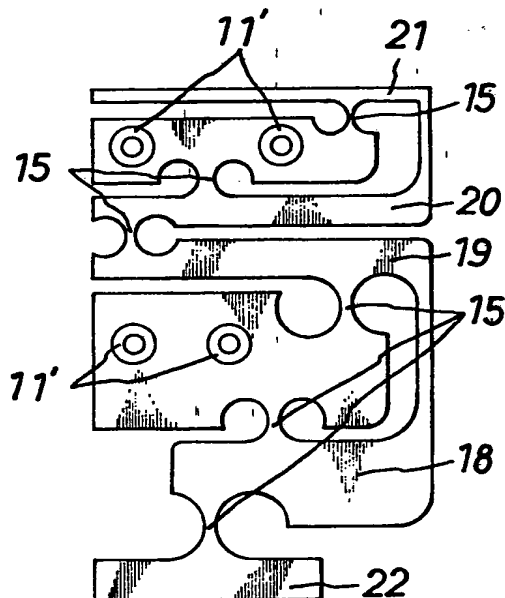
- 15 -

**Fig. 7A**

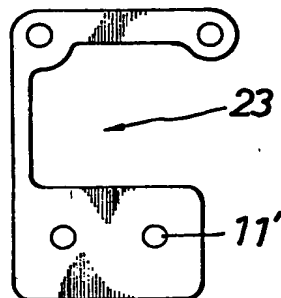
**Fig. 7B**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**

